

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-295797

(43)Date of publication of application : 21.10.1994

(51)Int.Cl.

H05H 1/46

(21)Application number : 06-021375

(71)Applicant : TEXAS INSTR INC &lt;TI&gt;

(22)Date of filing : 18.02.1994

(72)Inventor : PARANJPE AJIT P  
STEVE S FANG

(30)Priority

Priority number : 93 19941

Priority date : 19.02.1993

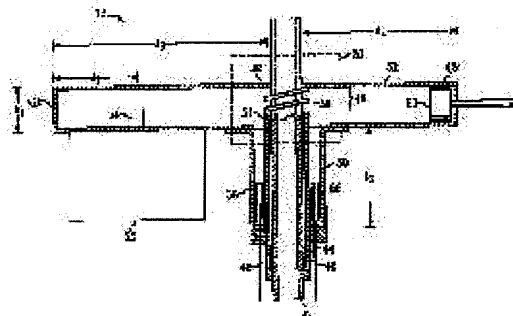
Priority country : US

## (54) PLASMA GENERATOR AND GENERATING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an apparatus and a method for generating a plasma without requiring expensive tuning and cooling mechanism.

CONSTITUTION: While comprising a first waveguide 32 coupled with a section of a coaxial waveguide 30 and regulating a cavity 28 at intersection of the waveguides, a surfatron 12 is installed. The coaxial waveguide 30 comprises an outside cylinder and an inner side cylinder 34 arranged in the outside cylinder 36. The inner side cylinder 34 has an end arranged adjacently to a wall of a first section of the waveguide 32. A space 40 is regulated between the end of the inner side cylinder 34 and the wall of the waveguide 32. A discharge tube 22 comprises a first part arranged in the inner side cylinder 34 and a second part extended through the space 40 between the end of the inner side cylinder 34 and the wall of the waveguide 32 and is installed. A coil 39 is positioned in the surrounding of a part of the discharge tube 22 extended through the space 40 between the end of the inner side cylinder 34 and the wall of the waveguide 32.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 19.07.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original  
precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] They are the 1st waveguide and the coaxial waveguide which is combined with this 1st waveguide and specifies a cavity on an intersection with the 1st waveguide concerned. Including the inside cylinder arranged in an outside cylinder and this outside cylinder, space is specified between [ some ] a part of this inside cylinder and said outside cylinder, and it has the edge which approached the wall of said 1st waveguide and has been arranged. The coaxial waveguide with which space was specified between said edges and said walls, said -- the inside -- a cylinder -- inside -- arranging -- having had -- part I -- a part -- and -- said -- the inside -- a cylinder -- said -- an edge -- and -- said -- a wall -- between -- said -- space -- a passage -- extending -- part II -- a part -- having -- the discharge tube -- said -- an edge -- and -- said -- a wall -- between -- said -- space -- a passage -- extending -- said -- the discharge tube -- said -- a part -- a perimeter -- arranging -- having had -- a coil -- containing -- the plasma -- a generator .

[Claim 2] A microwave cavity is formed on the intersection of the area of a rectangle waveguide, and the area of a coaxial waveguide. Arrange a conductor and a capacity-opening is formed with the wall of said rectangle waveguide. the inside of said cavity -- the inside of said coaxial waveguide -- So that winding and electric field may be created in said capacity-opening in a coil around [ a part of / said ] said discharge tube which some discharge tubes which convey preselected gas are made to extend through said capacity-opening, and extends through said capacity-opening How to generate the plasma it was made to contain each step by which the gas conveyed in said tubing which the electromagnetic wave was discharged in said cavity, and the current was guided in said coil, and approached said coil is ionized.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original  
precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

## [Detailed Description of the Invention]

[0001] Generally, technical field this invention of invention relates to generating of the plasma, especially relates to the generator and the generating approach of the plasma.

[0002] The microwave plasma of background remoteness of invention is daily used in the semi-conductor processing for generating of the radical species (radical species) to etching and vacuum evaporation. A remote microwave generation source generates strong electric field within a cavity, and forms the plasma, and this plasma is diffused in the processing interior of a room as afterglow plasma from it. Although an easy configuration is used, as for well-known cavity equipment, they have some faults. Since it is the dielectric with which the plasma is lossy in itself, the existence in the cavity corrects electric-field distribution of the first stage which results in the substantial change in the impedance in a cavity. After generating the plasma and attaining suitable impedance matching and the optimal power association, the related tuning stub must often be adjusted. Furthermore, since the dissipation of power happens within the whole cavity and the discharge tube can do damage with a high temperature load in high power level, suitable cooling of the cavity is indispensable. Finally, transportation of the plasma on the outside of the cavity takes place independently by diffusion. In this way, the afterglow plasma in \*\* may become weaker completely. Surface wave discharge offers some profits about cavity self-sustaining discharge. Unlike the common cavity maintenance discharge, the plasma is generated within spare time for a short time, and this gap is a part of only whole small cavity so that a cavity may act more coldly [ near the spare time ] for a short time [ that ]. Dissipation only of the small part of the whole power is carried out within spare time for a short time, and the remainder is emitted. Unlike the cavity which was common by this, the impedance of a cavity is not sensitive to the condition of the plasma. Furthermore, the surface wave spread along with the discharge tube generates the long plasma column which offers the indoor and denser plasma. As compared with the common cavity which requires the stub tuner of 3 or 4, the impedance matching over surface wave discharge is attained by the movable short-circuit (shorts) in the waveguide area of the same axle and a rectangle. In this way, tuning is easy and becomes independent of the property of a cavity, therefore the condition of the plasma relatively.

[0003] However, the common surface wave plasma generating machine has substantial disadvantageous profit again. A higher power surface wave is characterized by stronger electric field. Maximum-electric-power processing capacity is restricted by dielectric breakdown guided by electric field in a gap. If electric field are strong to remainder, an arc will make failure cause in a gap. Even if a metaphor arc does not happen, spare time gets hot to the degree of pole for a short time. If a gap excels in remainder, a surface wave must have been discharged in the discharge tube. It is difficult for a spark or an external trigger like a Tesla coil not to help to \*\*\*\*\*, to make it it to a certain geometry and processing state, and to strike the plasma. Within a reactor, the both sides of these external triggers are the generation sources of electrical noise, and, therefore, are not desirable. Finally, it is required in order that the minimum plasma column die length may absorb microwave power completely.

[0004] It was generated to an approach to have improved the need in this way for generating the microwave plasma, and equipment. Such equipment and an approach that have been improved should generate the plasma without the need of receiving large tuning and a cooler style.

Furthermore, the equipment and the approach which have been improved should generate the plasma strong enough for the use in application like a semi-conductor manufacturing system.

[0005] According to outline this invention of invention, the plasma generator is formed including the area of the coaxial waveguide which is combined with the 1st area of a waveguide, and the 1st area of a waveguide, and specifies a cavity on the intersection of both areas. The coaxial waveguide contains the movable inside cylinder arranged in the outside cylinder concerned with the space specified between [ some ] some of outside cylinders, inside cylinders, and an outside cylinder. The end of an inside cylinder approaches the wall of the 1st waveguide, and is arranged, and, thereby, the space which can be adjusted is specified between said edge and said wall. The

discharge tube has a part for a part for part I arranged in an inside cylinder, and part II which extends through said space between the edge of an inside cylinder, and said wall, and is prepared. The coil is arranged between the edge of an inside cylinder, and said wall around [ a part of ] the discharge tube which carries out through extension of said space.

[0006] The plasma generator according to this invention mitigates substantial disadvantageous profit of the proper in the common plasma generator. The example of this invention permits generating of the plasma, without being accompanied by the need of receiving the device of extensive tuning and cooling. Furthermore, the example of this invention permits generating of the plasma strong enough to the use in application like a semi-conductor manufacturing system.

[0007] Reference is made by the next description taken in connection with an accompanying drawing for a more perfect understanding of this invention and its advantage.

[0008]

[Example] The more desirable example of this invention reaches and the profits are best understood by referring to drawing 1 thru/or drawing 3 of a drawing. The same figure of various drawings is the same, and is used to a corresponding part.

[0009] If drawing 1 is referred to first, the semi-conductor processing system 10 is expressed using surfer TRON (surfatron) (plasma generator) 12 improved according to the example of this invention. A processing system 10 includes the processing room 14 combined with \*\* 16 with bellows 18. Including surfer TRON 12, \*\* 16 operates in relation to a magnetron 20 or other suitable electromagnetic-like power generation sources so that this may be mentioned further later. The discharge tube 22 extends in the processing room 14 through surfer TRON 12. Gas is received, the plasma is generated in an end from this gas, and the discharge tube 22 hands over the plasma produced as a result in the processing room 14 through an opposite end. The VAT valve 24 and a rotodynamic pump 26 are used in order to remove the gas matter from the processing room 14.

[0010] Drawing 2 shows one example of waveguide surfer TRON 12 which comes to use the concept of this invention and which was combined in resonance. The spare time cavity is formed of the crossover with the rectangle waveguide 32 of the coaxial waveguide 30 for a short time which is generally shown by the broken line in 28. the inside of a cylinder with the movable coaxial waveguide 30 -- the outside of a conductor 34 and a cylinder -- a conductor 36 is included. the inside of the coaxial waveguide 30 -- a conductor 34 moves to shaft orientations -- having -- the inside -- the die length of the solenoid coil 38 placed into the gap 40 between the edge of a conductor 34 and the upper wall of the rectangle waveguide 32 is adjusted. two short turn coils with which the solenoid coil 38 was wound around the discharge tube 22 in the shown example -- it is -- the end -- the inside -- the edge of a conductor 34 adheres and the other end is combined with the upper wall 42 of a coaxial waveguide area. The discharge tube 22 may be manufactured, for example from Pyrex glass (brand name of heat-resisting glass), a quartz, or a dielectric like sapphire so that it may be chosen compatible with the gas which flows through it. the inside same axle -- the thin annular space 44 between a conductor 34 and the discharge tube 44 is offered for forced cooling of the unit through a port 46. Oil (grace which is compatible with microwave) cooling may also be used instead of air quenching.

[0011] The rectangle waveguide area 32 contains two arms 42a and 42b. In the example drawing 2 was indicated to be, while waveguide Kabeuchi of arm 42a is equipped with the non-contact plunger 50, the 1 magnetron head 20 is used and it is equipped on arm 42b. In the configuration of drawing 2, as two arms 42 make maximum-electric-power association into a gap adjust to a plunger 50, they may be fixed to a position. Drawing 3 shows the example alternative to two magnetron heads 20a and 20b being used. In this example, each arms 42a and 42b are inserted into each edge of the fixed waveguide area 49 so that [ adjustment ] it may be permitted possible [ a slide ] that they should make power association into an opening 40 min. In an alternative example, the waveguide arm and magnetron of an additional rectangle may be combined with the short opening cavity 28.

[0012] The magnetron coaxial antenna 54 discharges TE10 mode wave in the rectangle waveguide 32. This generates a TEM-mode wave in the coaxial area 30 in order. By adjusting the coaxial plunger 56 in adjusting the waveguide plunger of the rectangle of drawing 2 (letting me

slide each arms 42a and 42b in the example of drawing 3 ), and the coaxial area 30, the intense time amount which changes electric field crosses an opening 40, and is created. Preferably, while a non-contacted plunger makes the input impedance of the net of the coaxial area 30, an opening 40, and a waveguide 32 adjust the output impedance of an antenna 54, it secures the plunger 56 in a coaxial area, and that the short opening cavity 28 causes resonance. In the more desirable example, the short opening microwave cavity 28 is designed so that the electrostatic capacity of an opening 40 may become larger than the electrostatic capacity of the coaxial area 30. The electromagnetic field which cross an opening 40 generate a current through a coil 38 one by one. the inside -- by making a conductor 34 slide, by adjusting spacing of an opening, the inductance of a coil 38 is made from the microwave frequency used as resonance association so that it may resonate with the electrostatic capacity of an opening 40. The intense time amount change electromagnetic field generated by an opening 40 and the coil 38 spread through the dielectric discharge tube 22, and this ionizes the gas which flows towards the processing room 14. In an alternative example, since the impedance of the net of the short opening cavity 28 and a coil 38 is independent-like relatively [ operating state / plasma ], each plungers 50 and 56 may be replaced by welding short-circuit (welded shorts).

[0013] The design computation for surfer TRON 12 which operates on a frequency with a net of 2.5GHz according to the example of drawing 2 only for the instantiation purpose is shown (actuation frequency range which are 500MHz thru/or 10GHz). It is important to recognize that it can use depending on the useful generation source of a desired actuation frequency, a useful waveguide, and the electromagnetic-like [ an alternative huge example ] energy. The typical count for the rectangle waveguide 32 which operates in 2.45GHz is as follows.

Actuation frequency = 2.45GHz [0014] When a rectangle waveguide assumes that it is WR340 waveguide with a cross-section dimension (a1 = 3.4x25.4mm and b1 = 1.7x25.4mm), then, it is.

$$\text{遮断周波数} = \frac{c}{2a_1} \text{ --- 或いは } 1.736 \text{ GHz}$$

[0015] According to the following formula, the dimension l1 from the edge of one of the arms 42 to the center of the correspondence antenna 54, i.e., distance, may be then calculated.

[Equation 1]

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_0} = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

here -- setting -- lambda0 = -- free space wave length (cm)

lambdag = guide wave length (cm)

fc = cut-off frequency (Hz)

f = actuation frequency (Hz)

To the TE10 mode, they are lambda0 = 12.2cm, lambdag = 17.3cm, and [Equation 2] to 2.45GHz.

$$l_1 = \frac{\lambda_g}{4} = 4.3 \text{ cm} = 1.7 \times 25.4 \text{ mm}$$

[0016] In the illustrated example, the discharge tube 22 has the nominal tubing diameter of 25.4mm, the inside diameter of 23mm, and the outside diameter of 25mm. the inside -- the compulsory airstream between a conductor 34 and tubing 22 is taking cooling into consideration. If space 44 becomes 1mm in approximation, the greatest heat transfer may be attained. the inside (2mm thru/or 3mm) -- the typical thickness of a conductor will offer sufficient opening electrostatic capacity. the inside -- the inside diameter of a conductor 34 -- therefore, it is 27mm in net, and an outside diameter is 30mm in net.

[0017] The coaxial cavity is designed so that the mode of TE and TM may not be permitted and it may operate in the TEM mode. the actuation frequency of 2.45GHz -- receiving -- the inside

-- the outside of the outside diameter of a conductor 34 -- the ratio to the inside diameter of a conductor 36 is chosen as it is in the range of 1.4 thru/or 1.7.

[0018] The die length l2 of a coaxial cavity It should be the one half of free space wave length in approximation. It is used, in order that the coaxial plunger 56 may change the die length of a coaxial cavity so that the short resonance die length of an opening cavity may be the order of 2 double less or equal for 3 minutes of that of the whole coaxial cavity. The die length l2 of a coaxial cavity It is calculated as follows.

[Equation 3]

$$\tan\left(\frac{wl_2}{c}\right) = \frac{1}{Z_0 w C_g}$$

It sets here and is [Equation 4].

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{a}$$

And it sets here and is Zo. It is the characteristic impedance (ohm) of a coaxial area.

omega= include-angle actuation frequency (radian per second)

Cg It is the electrostatic capacity (farad) of the opening 40 without a coil 38.

b/a -- an outside -- the inside of the radius of the net of a conductor 36 -- it is a ratio to the radius of the net of a conductor 34.

l2 = the resonance die length 28 of a short opening cavity (m).

epsilonr It is the relative dielectric constant of the dielectric in the cavity which is air (epsilonr \*\*1) typically.

[0019] Opening electrostatic capacity (with no coil 38) may be calculated as follows.

[Equation 5]

$$C_g = \epsilon_0 \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) / d_g$$

here -- setting -- do = inside -- the outside diameter of a conductor 34.

di = inside -- the inside diameter (m) of a conductor 34.

The die length of the dg = opening 40 (m).

[0020] the inside -- with the adjustment possibility of a conductor 34, and no coil 38 -- nevertheless, the die length of an opening 40 should be greatly enough to avoid an arc. The electric field over 1000W of the net of the microwave power spread within a waveguide 32 are as follows in approximation.

[Equation 6]

$$1000 = \frac{E^2}{Z_{TE}} (a_1 b_1)$$

It sets here and is [Equation 7].

$$Z_{TE} = \frac{377 / \sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{1 - f_c^2 / f^2}} = 534 \Omega$$

And a1 And b1 Cross-section dimension of the rectangle waveguide 32 (in drawing 2 and drawing 3, it is right-angled in space at a1 =3.4x25.4mm, and is b1=1.7x25.4mm to WR340 waveguide).

Therefore, E= 120 V/cm

[0021] In order to avoid microwave dielectric breakdown in atmospheric pressure, the electric field in an opening 40 should be 1 kV/cm. This is connected with the 2mm minimum opening. Therefore, for the count purpose in this example, dg (the die length of an opening 40) may be selected as it is 3mm. It is Cg =0.4pF and Zo =30.6 (ohm) from this. Therefore, l2 The receiving solutions are l2 =27.9mm and 89.2mm. Because of optimization, it is l2. It should be selected between these two values. To this example, it is l2. It is taken as 80mm.

[0022] The following dimension which should be determined in this example is l3. And it is l4

(each load arm). Guide wave length  $\lambda$  which both sides calculated previously It should be half order. Because of the convenience equipped with a plunger 50, it is 13. It is taken with 8x25.4mm, and is 14. In the example of drawing 2, it is taken as 5x25.4mm. The plunger permits one degree of freedom to impedance matching. At the example of drawing 3, it is 13. 14 The arm 42 in which two sliding is equal and possible essentially permits two degrees of freedom to impedance matching.

[0023] Above-mentioned count offers the dimension of the net to the given example, without including a coil 40. The design is corrected so that a coil may be added now. In the more desirable example, it was designed so that a coil 38 might fulfill some constraint. The inside diameter of a coil 38 is adjusted with the outside diameter of the discharge tube 22. The die length of a coil should be compatible with the opening 40. In addition, in 2.45GHz, the inductance should resonate with the electrostatic capacity of the short opening 40. Finally, the coil 38 should have high Q for making into min joint effectiveness improved [ which were improved and was coil-heated ]. In the shown example, the electrostatic capacity of a short opening cavity may be approximated as follows.

[0024] In order that an opening 40 may hold a coil 38, it is increased substantially. If it assumes that adjustment of the net of an opening 40 is 0.77cm, electrostatic capacity will be set to 0.09pF in approximation. In the shown example, a coil 38 is characterized on a title as follows. several turns -- a N=2 coil radius R=0.625cm wire radius =0.1cm coil length =0.765cm inductance L=0.046microhenry frequency =2.45GHz wire die-length = copper coil -- receiving -- a 7.85cm skin depth = copper coil -- receiving -- a  $1.32 \times 10^{-4}$ cm conductance sigma= copper coil -- receiving --  $5.9 \times 10^5$  mho / cm wire resistance =0.16 ohm Q=4.5x103 -- here -- setting -- [Equation 8]

$$\text{インダクタンス } L = \frac{\pi \mu_0 R^2 N^2}{1 + 0.9 R}$$

It is here and is [Equation 9].  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m;

[Equation 10]

$$\text{表示深さ } \delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}; \text{ そして}$$

$$Q = \omega L / R$$

[0025] The instantiation example shown by drawing 2 and drawing 3 mitigates the problem discovered with a standard short opening plasma generating machine. Resonance association raises the power processing capacity of a cavity. In resonance, a big current circulates between a coil 38 and the capacitor of an opening 40. The plasma is maintained by the surface wave discharged by the opening 40 in heavy doubling with the eddy current guided with a solenoid coil 38. This dual covers the large range of an operating state, and improves the stability of the plasma. Although association by the surface wave is superior at low voltage, by the higher pressure, power association is based mainly on a coil 38. Existence of a solenoid coil 38 makes a power dissipation consistency increase. By adjusting the parameter of a coil, plasma column die length may be optimized to the given power level. Finally, during a start up, two turn coils function as a Tesla coil, and help plasma ignition.

[0026] High power microwave supply is expensive compared with standard low power (<600W) supply in microwave oven. In the example of drawing 3, it is provided with two relative low power 600W magnetron heads that it is convenient, and it generates the total power capacity of 1200W in it. Additional power capacity is further heightened by use of the coil 38 which increases the reinforcement of the electric field in an opening 40. It is combined with the short opening cavity 28, and an additional arm 42 and an additional magnetron 20 can heighten effective power further.

[0027] Although this invention and its profits have been stated to the detail, various change,

substitution, and modification do here, without deviating from the pneuma and the range of this invention which is specified by the attached claim.

[0028] The following terms are further indicated about the above explanation.

(1) They are the 1st waveguide and the coaxial waveguide which is combined with this 1st waveguide and specifies a cavity on an intersection with the 1st waveguide concerned. Including the inside cylinder arranged in an outside cylinder and this outside cylinder, space is specified between [ some ] a part of this inside cylinder and said outside cylinder, and it has the edge which approached the wall of said 1st waveguide and has been arranged. The coaxial waveguide with which space was specified between said edges and said walls, said -- the inside -- a cylinder -- inside -- arranging -- having had -- part I -- a part -- and -- said -- the inside -- a cylinder -- said -- an edge -- and -- said -- a wall -- between -- said -- space -- a passage -- extending -- part II -- a part -- having -- the discharge tube -- said -- an edge -- and -- said -- a wall -- between -- said -- space -- a passage -- extending -- said -- the discharge tube -- said -- a part -- a perimeter -- arranging -- having had -- a coil -- containing -- the plasma -- a generator .

(2) The generator of the plasma including the area of the rectangle waveguide with which said 1st waveguide contains the 1st and 2nd arms respectively arranged at a certain include angle to the area of said coaxial waveguide in the generator of the plasma given in the 1st term.

(3) The generator of the plasma which contains further the electromagnetic power source which is the generator of the plasma given in the 2nd term, and was further combined with said 1st arm.

(4) The generator of the plasma containing the 2nd electromagnetic power source which is the generator of the plasma given in the 3rd term, and was combined with said 2nd arm.

[0029] (5) the generator of the plasma given in the 1st term -- it is -- said inside -- a conductor and said outside -- the generator of the plasma which contains further the plunger arranged in said space specified between conductors.

(6) The generator of the plasma which contains further the plunger which is the generator of the plasma given [ said ] in the 2nd term, and has been arranged in the 2nd [ of the area of said rectangle waveguide / said ] arm.

(7) Said 1st arm is the generator of the plasma with which it is inserted possible [ a slide at said 1st edge ], and said 2nd arm was inserted possible [ a slide ] into the 2nd [ of said fixed area / said ] edge including the fixed area in which the area of said rectangle waveguide has the 1st and 2nd edge and 1st and 2nd arms in the generator of the plasma given in the 1st term.

(8) In the generator of the plasma given in the 1st term, said inside cylinder meets the shaft of said outside cylinder so that the die length of said edge of said inside cylinder and said opening between said walls can be adjusted, and it is the generator of the plasma which can be slid.

[0030] (9) The generator of the plasma it was made to include two or more areas of the rectangle waveguide with which said 1st waveguide extends from said coaxial waveguide to radial in the generator of the plasma given in the 1st term.

(10) The area of the rectangle waveguide containing the 1st and 2nd arms, and the electromagnetic power source combined with one as which said arm was chosen, It is the area of the coaxial waveguide which is combined through the 1st wall of the area of said rectangle waveguide, and forms a cavity. The 1st cylinder and the 2nd cylinder arranged possible [ a slide into this 1st cylinder ] are included. Space is arranged between the corresponding points of said 1st and 2nd cylinders, and forms said a part of cavity. The edge of said 2nd cylinder approaches the wall of the area of said rectangle waveguide, and is arranged adjustable, and adjustable space is specified among them. And the area of the coaxial waveguide containing the coaxial plunger arranged in said space between said corresponding points of said 1st and 2nd cylinders, The generator of the plasma containing the discharge tube which has a part for part II which extends through said space between said edge of a part for part I arranged in said 2nd cylinder, and said 2nd cylinder, and said wall of said rectangle waveguide, and the coil wound around the surroundings of those for said part II of said discharge tube.

[0031] (11) The generator of the plasma which space is specified in the generator of the plasma given in the 10th term between said some of discharge tubes and the corresponding point of said



2nd cylinder, and a port is arranged through said 2nd cylinder, and permitted the fluid free passage with said space.

(12) The generator of the plasma with which said plunger contains a non-contacted plunger in the generator of the plasma given in the 10th term.

(13) The generator of the plasma with which said electromagnetic power source contains a magnetron in the generator of the plasma given in the 10th term.

(14) The generator of the plasma with which it sets to the generator of the plasma given in the 10th term, and the plunger was arranged in one of everything [ the ] but said each arm.

(15) The generator of the plasma with which it was made for said discharge tube to contain a quartz tube in the generator of the plasma given in the 10th term.

(16) The generator of the plasma with which it was made for said discharge tube to contain sapphire tubing in the generator of the plasma given in the 10th term.

[0032] (17) A processing room and the area of the rectangle waveguide containing the 1st and 2nd arms, It is the area of the coaxial waveguide which through association is carried out in the 1st wall of the magnetron combined with one as which said each arm was chosen, and the area of said rectangle waveguide, and forms a cavity. The 1st cylinder and the 2nd cylinder arranged possible [ a slide into this 1st cylinder ] are included. The area of the coaxial waveguide which said a part of cavity is formed, the edge of said 2nd cylinder approaches the 2nd wall of the area of said rectangle waveguide, and is arranged [ space is arranged between the corresponding points of said 1st and 2nd cylinders, ], and specifies space among them, It is the discharge tube which has a part for part II which extends through said edge of a part for part I arranged in said 2nd cylinder, and said 2nd cylinder, and said space between said walls of said rectangle waveguide. The discharge tube which the 1st edge of this discharge tube is combined with the aforementioned room, and provides it with the plasma, The processing system it was made to include the plasma generator which is the coil wound around the surroundings of those for said part II of said discharge tube, and contains the coil with which an adjustable opening is specified between [ some ] said edge of said 2nd cylinder, and said coil, and the source of gas combined with the 2nd edge of said discharge tube.

[0033] (18) The processing system it was made to contain further the coaxial plunger with which said plasma generating machine has been arranged in said space between the corresponding points of said 1st and 2nd cylinders in a processing system given in the 17th term.

(19) The processing system it was made to contain the 2nd magnetron which is a processing system given in the 17th term, and was combined with one more of said each of the arm.

(20) Form a microwave cavity on the intersection of the area of a rectangle waveguide, and the area of a coaxial waveguide. Arrange a conductor and a capacity-opening is formed with the wall of said rectangle waveguide. the inside of said cavity -- the inside of said coaxial waveguide -- So that winding and electric field may be created in said capacity-opening in a coil around [ a part of / said ] said discharge tube which some discharge tubes which convey preselected gas are made to extend through said capacity-opening, and extends through said capacity-opening How to generate the plasma it was made to contain each step by which the gas conveyed in said tubing which the electromagnetic wave was discharged in said cavity, and the current was guided in said coil, and approached said coil is ionized.

(21) an approach given in the 20th term -- it be -- the inside of said coaxial waveguide -- the approach it be made contain further the step which attain the resonance between \*\*\*\*\* of said opening, and the inductance of said coil so that it will be alike if a conductor be move, and ionization of the gas in said tubing may be make more into min, the die length of said capacity-opening may be adjust and resonance may be establish between the electrostatic capacity of said opening, and the inductance of said coil.

[0034] (22) Surfer TRON 12 is formed including the 1st waveguide 32 which is combined with the area of the coaxial waveguide 30 and specifies a cavity 28 on the intersection between them. The coaxial waveguide 30 contains the inside cylinder 34 arranged in the outside cylinder 36 and the outside cylinder 36. The inside cylinder 34 has the edge which approached the wall of the 1st area of a waveguide 32 and has been arranged. Space 40 is specified between the edge of the inside cylinder 34, and the wall of a waveguide 32. Between the edge of a part for part I arranged

in the inside cylinder 34, and the inside cylinder 34, and the wall of a waveguide 32, the discharge tube 22 has a part for part II which carries out through extension of the space 40, and is prepared. The coil 38 is arranged around [ a part of ] the discharge tube 22 which extends through space 40 between the edge of the inside cylinder 34, and the wall of a waveguide 32. [0035] Cautions (c) copyright, \*M\* Texas Instruments, Incorporated (Texas Instruments Incorporated), 1990. A part of indication of this patent document contains the subject matter which needs protection of copyrights. Although the objection does not have copyright and a mask work owner (mask work owner) in the facsimile playback by someone of patent documents or patent indications when becoming clear in the United States patent agency, a patent file, or record, they suspend all the rights in the copyright and mask work.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the sectional view of the semi-conductor manufacturing system which used the plasma generating approach and equipment which carry out this invention.

[Drawing 2] It is the sectional view of the plasma generator which carries out the principle of this invention.

[Drawing 3] It is the sectional view of the 2nd example of the plasma generator which carries out the principle of this invention.

[Description of Notations]

12 Surfer TRON  
22 Discharge Tube  
28 Cavity  
32 Rectangle Waveguide  
30 Coaxial Waveguide  
34 Inside Cylinder  
36 Outside Cylinder  
38 Coil  
40 Space  
42a, 42b Arm  
50 Plunger.

---

[Translation done.]

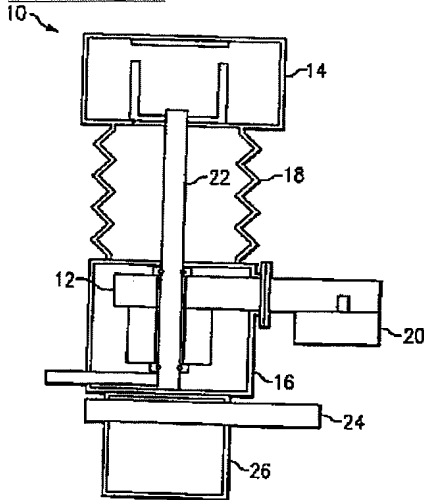
**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

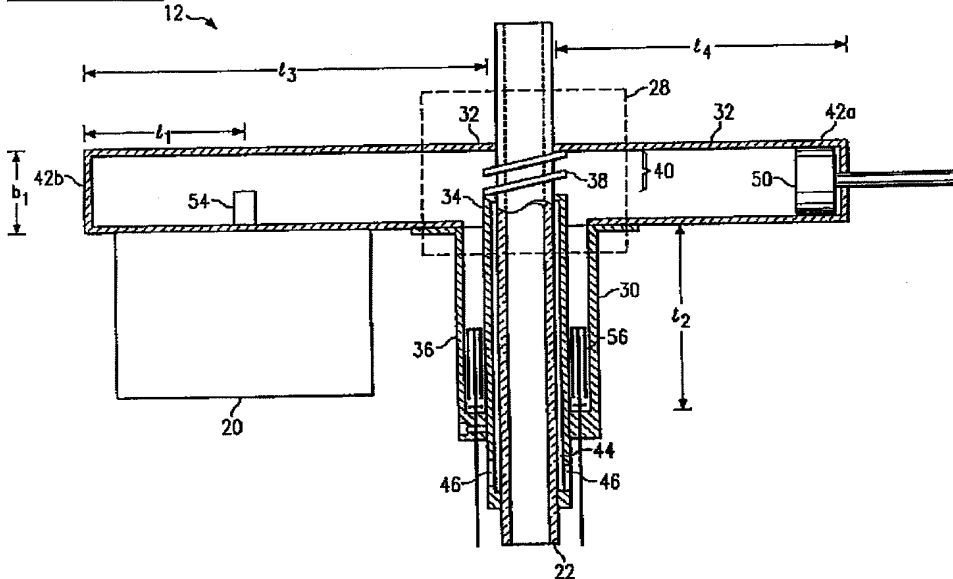
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

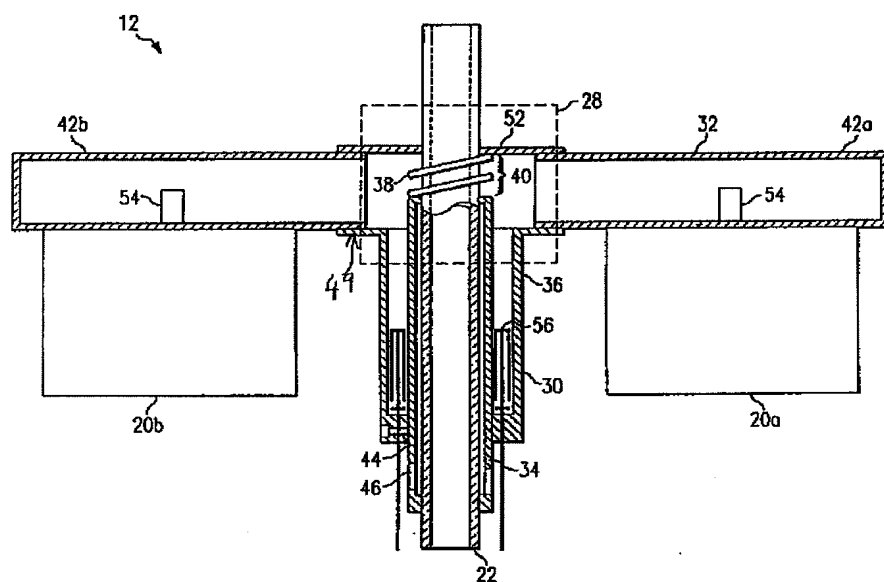
[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-295797

(43)公開日 平成6年(1994)10月21日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 5 H 1/46

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B 9014-2G

審査請求 未請求 発明の数2 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平6-21375

(22)出願日 平成6年(1994)2月18日

(31)優先権主張番号 0 1 9 9 4 1

(32)優先日 1993年2月19日

(33)優先権主張国 米国 (US)

(71)出願人 590000879

テキサス インスツルメンツ インコーポ  
レイテッド

アメリカ合衆国テキサス州ダラス, ノース  
セントラルエクスプレスウェイ 13500

(72)発明者 アジット ビー. バランジブ

アメリカ合衆国テキサス州ダラス, フォレ  
スト レーン 9670, アpartment ナ  
ンバー 1088

(72)発明者 スチーブ エス. ファング

アメリカ合衆国テキサス州リチャードソ  
ン, グリーンパーク ドライブ 2309

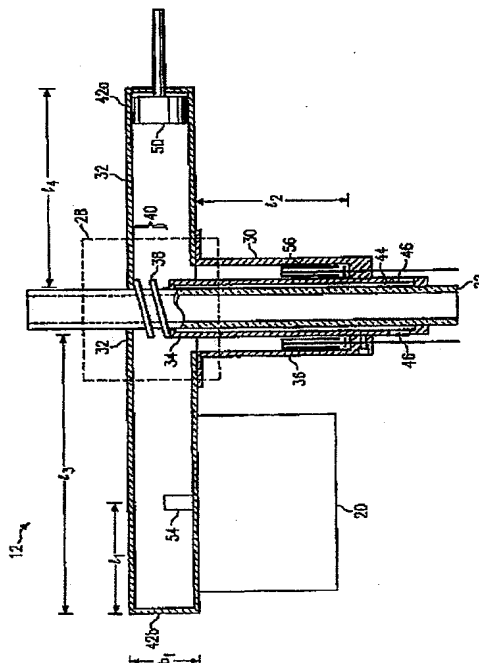
(74)代理人 弁理士 浅村 皓 (外3名)

(54)【発明の名称】 プラズマの発生装置及び発生方法

(57)【要約】

【目的】 高価なチューニング及び冷却機構を必要とすることなくプラズマを発生させる装置及び方法を提供する。

【構成】 サーファトロン12が、同軸導波管30の区域に結合されてそれらの間の交点にて空洞28を規定する第1導波管32を含んで設けられている。同軸導波管30は外側円筒36及び外側円筒36内に配置された内側円筒34を含む。内側円筒34は導波管32の第1区域の壁に接近して配置された端を有する。空間40は、内側円筒34の端及び導波管32の壁の間に規定される。放電管22は、内側円筒34内に配置された第1部分及び内側円筒34の端及び導波管32の壁の間で空間40を通し延出する第2部分を有して設けられている。コイル38は内側円筒34の端及び導波管32の壁の間で空間40を通り延出する放電管22の一部の周りに配置されている。



1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 第1導波管と、

この第1導波管に結合されて当該第1導波管との交点にて空洞を規定する同軸導波管であって、外側円筒とこの外側円筒内に配置された内側円筒を含み、空間がこの内側円筒の一部及び前記外側円筒の一部の間に規定されそして前記第1導波管の壁に接近して配置された端を有し、空間が前記端と前記壁との間に規定されるようにした同軸導波管と、

前記内側円筒内に配置された第1部分及び前記内側円筒の前記端及び前記壁の間で前記空間を通り延出する第2部分を有する放電管と、  
前記端及び前記壁の間で前記空間を通り延出する前記放電管の前記一部の周囲に配置されたコイルを含むプラズマの発生装置。

【請求項2】 長方形導波管の区域及び同軸導波管の区域の交点にてマイクロ波空洞を形成し、  
前記空洞内に前記同軸導波管の内側導体を配置して前記長方形導波管の壁と共に容量的空隙を形成し、  
予め選択されたガスを搬送する放電管の一部を前記容量的空隙を通して延出させ、  
前記容量的空隙を通り延出する前記放電管の前記一部の周りにコイルを巻回し、そして電界が前記容量的空隙内に創造されるように、電磁波を前記空洞内に発射し、電流が前記コイル内に誘導されそして前記コイルに接近した前記管内に搬送されるガスがイオン化される各ステップを含むようにしたプラズマを発生させる方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】 発明の技術的分野

本発明は一般的にはプラズマの発生に係り、特にプラズマの発生装置及び発生方法に関する。

## 【0002】 発明の背景

遠隔のマイクロ波プラズマが、エッチング及び蒸着に対するラジカルスピーシーズ (radical species) の発生のための半導体処理において日常的に使用されている。遠隔のマイクロ波発生源は、空洞内にて強度の電界を発生してプラズマを形成し、このプラズマはそれから残光プラズマとして処理室内に拡散する。周知の空洞装置は簡単な構成を使用するが、それらはいくつかの欠点をもっている。プラズマは、それ自体、損失のある誘電体であるから、その空洞におけるその存在は、空洞内のインピーダンスにおける実質的な変化に帰着する初期の電界分布を修正する。プラズマが発生されて適当なインピーダンス整合及び最適な電力結合を達成した後は、関連した同調スタブが、しばしば、調整されねばならない。さらに、電力の消散が全体の空洞内で起こり、そして高電力レベルでは放電管が高熱負荷により損害を与えられ得るので、その空洞の適当な冷却が不可欠である。最終的に、その空洞の外側へのプラズマの輸送は拡散によって単独で起こる。かくして、室における

2

残光プラズマは完全に弱まり得る。表面波放電は空洞持続放電に関しいくつかの利益を提供する。ありふれた空洞維持放電とは異なり、プラズマは短い間隙内で発生され、この間隙は、その短い間隙の近くを除き、空洞がより冷たく作用するように全体の空洞の小さな一部にすぎない。全体の電力の小さな部分のみが短い間隙内で消散され、その残りは放射される。これにより、ありふれた空洞とは異なり、空洞のインピーダンスは、プラズマの状態に敏感ではない。さらに、放電管に沿って伝播する表面波は、室内にてより密なプラズマを提供する長いプラズマ柱を発生する。3或いは4のスタブチューナーを要求するありふれた空洞と比較して、表面波放電に対するインピーダンス整合は、同軸のそして長方形の導波管区域における移動可能なショート (shorts) により達成される。かくして、チューニングは、簡単で空洞の性質故にプラズマの状態から相対的に独立する。

【0003】 しかしながら、ありふれた表面波プラズマ発生機はまた、実質的な不利益をもつ。より高い電力表面波はより強い電界により特徴づけられる。最大電力処理容量は、間隙内にて電界により誘導される絶縁破壊によって制限される。もしも電界が余りに強ければ、アークが間隙内に失敗を起こさせる。例えばアークが起こらなくても、短い間隙が極度に熱くなる。もしも間隙が余りに長ければ、表面波は放電管内に発射され得ない。加うるに、ある幾何学的形状及び処理状態に対しては、電気火花或いはテスラコイルのような外部トリガーの助けなくしてプラズマを打つことは困難である。これらの外部トリガーの双方がリアクター内にて電氣的ノイズの発生源であり、そしてだから望ましくない。最終的には、最小のプラズマ柱長さがマイクロ波電力を完全に吸収するために要求される。

【0004】 かくして、その必要性が、マイクロ波プラズマを発生させるための改善された方法及び装置に対し生じた。そのような改善された装置及び方法は、広いチューニング及び冷却機構に対する必要性なしにプラズマを発生させるべきである。さらに、改善された装置及び方法は、半導体製造システムのような応用における使用のための十分に強いプラズマを発生させるべきである。

## 【0005】 発明の概要

本発明によれば、プラズマ発生装置が、導波管の第1区域と導波管の第1区域に結合されて両区域の交点にて空洞を規定する同軸導波管の区域を含んで設けられている。その同軸導波管は、外側円筒と、内側円筒の一部及び外側円筒の一部の間に規定される空間と共に当該外側円筒内に配置された移動可能な内側円筒を含む。内側円筒の一端が第1導波管の壁に接近して配置され、これにより、調整可能な空間が前記端及び前記壁の間に規定される。放電管は、内側円筒内に配置された第1部分と、内側円筒の端及び前記壁の間で前記空間を通り延出する第2部分とを有して、設けられている。コイルは、内側

円筒の端及び前記壁の間で、前記空間を通し延出する放電管の一部の周りに配置されている。

【0006】本発明に応じたプラズマ発生装置は、ありふれたプラズマ発生装置における固有の実質的な不利点を軽減する。本発明の実施例は、広範なチューニング及び冷却の機構に対する必要性を伴うことなくプラズマの発生を許容する。さらに、本発明の実施例は半導体製造システムのような応用における使用に対し十分に強いプラズマの発生を許容する。

【0007】本発明及びその利点のより完全な理解のために、添付図面との関連でとられる次の記述に言及される。

【0008】

【実施例】本発明のより好ましい実施例は及びその利益は、図面の図1乃至図3を参照することにより最もよく理解される。同じ数字が色々な図面の同じそして対応する部分に対し使用される。

【0009】まず図1を参照すれば、半導体処理システム10が、本発明の実施例に応じて改善されたサーファトロン(surfatron)(プラズマ発生器)12を使用して表されている。処理システム10は、ペローズ18により室16に結合された処理室14を含む。室16はサーファトロン12を含み、これは、さらに後述するように、マグネトロン20或いは他の適当な電磁氣的電力発生源と関連して作動する。放電管22は、サーファトロン12を介して処理室14に延出する。放電管22はガスを受け、このガスからプラズマが一端にて発生されそして結果的に生ずるプラズマを反対端を通して処理室14に引き渡す。VAT弁24及びターボ形ポンプ26は処理室14からガス物質を除去するために使用される。

【0010】図2は、本発明の概念を使用してなる共鳴的に結合した導波管サーファトロン12の一実施例を示す。28にて破線により一般的に示される短い間隙空洞は、同軸導波管30の長方形導波管32との交差により形成されている。同軸導波管30は移動可能な円筒の内側導体34及び円筒の外側導体36を含む。同軸導波管30の内側導体34は、軸方向に移動されて、内側導体34の端と長方形導波管32の上壁との間に間隙40内に置かれたソレノイドコイル38の長さを調整する。示された実施例において、ソレノイドコイル38は、放電管22に巻かれた短い二つのターンコイルであって、その一端は内側導体34の端に付着され、そしてその他端は同軸導波管区域の上壁42に結合されている。放電管22は、それを通して流れるガスと両立すべく選択されるように、パイレックスガラス(耐熱ガラスの商標名)、石英或いはサファイアのような誘電体から例えば製造され得る。内側の同軸導体34と放電管44との間の薄い環状空間44はポート46を介するユニットの強制冷却のために提供される。オイル(マイクロ波と両立

する品位)冷却もまた空気冷却の代わりに使用され得る。

【0011】長方形導波管区域32は、二つの腕42a及び42bを含む。図2の示された実施例においては、非接触のブランジャ50が腕42aの導波管壁内に装備されている一方、一マグネトロンヘッド20が使用され、腕42b上に装着されている。図2の構成においては、二つの腕42が、ブランジャ50に間隙内への最大電力結合の調整をさせるようにして、所定の位置に固定され得る。図3は、二つのマグネトロンヘッド20a及び20bが使用されている代わりの実施例を示している。この実施例においては、各腕42a、42bは、それらが空隙40内への電力結合を最小にすべくスライド可能に調整を許容されるように、固定された導波管区域49の各端内に挿入されている。代わりの実施例においては、付加的な長方形の導波管腕及びマグネトロンが短い空隙空洞28に結合され得る。

【0012】マグネトロン同軸アンテナ54は、TE10モード波を長方形導波管32内に発射する。これが、順番に、TEMモード波を同軸区域30内に発生する。図2の長方形の導波管ブランジャを調整すること(図3の実施例にて、各腕42a、42bをスライドさせること)及び同軸区域30における同軸ブランジャ56を調整することにより、電界を変える強烈な時間が空隙40を横切って創造される。同軸区域におけるブランジャ56、好ましくは、無接触のブランジャは、アンテナ54の出力インピーダンスを同軸区域30、空隙40及び導波管32の正味の入力インピーダンスに整合させる一方、短い空隙空洞28が共鳴を起こすことを確保する。より好ましい実施例においては、短い空隙マイクロ波空洞28は、空隙40の静電容量が同軸区域30の静電容量よりも大きくなるように設計されている。空隙40を横切る電磁界は、順次、コイル38を通して電流を発生する。内側導体34をスライドさせることにより空隙の間隔を調整することによって、コイル38のインダクタンスが、共鳴結合となるマイクロ波周波数にて、空隙40の静電容量と共鳴するように作られる。空隙40及びコイル38により発生される強烈な時間変化電磁界が誘電体放電管22を通り伝播し、これにより、処理室14に向けて流れるガスをイオン化する。代わりの実施例においては、短い空隙空洞28及びコイル38の正味のインピーダンスがプラズマ作動状態とは相対的に独立であるので、各ブランジャ50及び56は、溶接ショート(welded shorts)により置き換えられ得る。

【0013】例示目的のみのために、図2の実施例に応じて、2.5GHzの正味の周波数にて作動するサーファトロン12のための設計計算が示される(500MHz乃至10GHzの作動周波数範囲)。膨大な代わりの実施例が所望の作動周波数、有用な導波管及び電磁氣的エ

エネルギーの有用な発生源に依存して利用できるということ  
を認識することが重要である。2.45GHzにて作  
動する長方形導波管32のための代表的な計算は、次の  
ようである。

\*

C

遮断周波数=———或いは1.736GHz

2a<sub>1</sub>

【0015】寸法1<sub>1</sub>、即ちいずれかの腕42の端から  
対応アンテナ54の中央への距離は、そのとき、次の式  
に応じて計算され得る。

【数1】

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_0} = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

ここにおいて、

※

$$l_1 = \frac{\lambda_g}{4} = 4.3 \text{ cm} = 1.7 \times 25.4 \text{ mm}$$

【0016】例示された実施例においては、放電管22  
は、25.4mmの公称管直径、23mmの内側直径及  
び25mmの外側直径を有する。内側導体34と管22  
との間の強制的な空気流は冷却を考慮している。もしも  
空間44が近似的に1mmならば、最大の熱伝達が達成  
され得る。2mm乃至3mmの内側導体の典型的な厚さ  
は十分な空隙静電容量を提供するだろう。内側導体34  
の内側直径は従って正味27mmでありそして外側直径  
は正味30mmである。

【0017】同軸空洞は、TE及びTMのモードが許容  
されないようにTEMモードにて作動するように設計さ  
れている。2.45GHzの作動周波数に対しては、内  
側導体34の外側直径の外側導体36の内側直径に対す  
る比が、1.4乃至1.7の範囲にあるように選択され  
る。

【0018】同軸空洞の長さ1<sub>2</sub>は近似的に自由空間波  
長の半分であるべきである。同軸ブランジャ56は、短  
い空隙空洞の共鳴長さが、全体の同軸空洞のその3分  
の2倍以下のオーダーであるように、同軸空洞の長さ  
を変化させるために使用される。同軸空洞の長さ1<sub>2</sub>は次  
のように算定される。

【数3】

$$\tan\left(\frac{wl_2}{c}\right) = \frac{1}{Z_0 w C_g}$$

ここにおいて、

【数4】

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{a}$$

そしてここにおいて

\*作動周波数=2.45GHz

【0014】長方形導波管が、a<sub>1</sub>=3.4×25.4  
mm及びb<sub>1</sub>=1.7×25.4mmの断面寸法をもつ

\* WR340導波管であると仮定すると、そのときには

※λ<sub>0</sub>=自由な空間波長(cm)

λ<sub>g</sub>=導波管内波長(cm)

10 f<sub>c</sub>=遮断周波数(Hz)

f=作動周波数(Hz)

TE10モードに対しては、

2.45GHzに対して、λ<sub>0</sub>=12.2cm

それから、λ<sub>g</sub>=17.3cmそして

【数2】

20 Z<sub>0</sub>は同軸区域の特性インピーダンス(オーム)であ  
る。

ω=角度作動周波数(ラジアン/秒)

C<sub>g</sub>はコイル38無しの空隙40の静電容量(ファラ  
ド)である。

b/aは、外側導体36の正味の半径の内側導体34の  
正味の半径に対する比である。

1<sub>2</sub>=短い空隙空洞の共鳴長さ28(m)。

ε<sub>r</sub>は典型的には空気(ε<sub>r</sub>≒1)である空洞における  
誘電体の相対的な誘電率である。

30 【0019】空隙静電容量(コイル38無し)は次のよ  
うに計算され得る。

【数5】

$$C_g = \epsilon_0 \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2) / d_g$$

ここにおいて、

d<sub>0</sub>=内側導体34の外側直径。

d<sub>1</sub>=内側導体34の内側直径(m)。

d<sub>g</sub>=空隙40の長さ(m)。

40 【0020】内側導体34の調整可能性及びコイル38  
無しにもかかわらず、空隙40の長さはアークを避ける  
に十分に大きくあるべきである。導波管32内で伝播す  
るマイクロ波電力の正味の1000Wに対する電界は、  
近似的に次のようである。

【数6】

$$1000 = \frac{E^2}{Z_0} (a_1 b_1)$$

ここにおいて、

【数7】



$$Z_{TE} = \frac{377/\sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{1 - f_c^2/f^2}} = 534 \Omega$$

そして $a_1$ 及び $b_1$ は、長方形導波管32の断面寸法( $a_1 = 3.4 \times 25.4$  mmで図2及び図3において紙面に直角であり、WR340導波管に対して $b_1 = 1.7 \times 25.4$  mm)。

従って、 $E = 120$  V/cm.

【0021】大気圧におけるマイクロ波絶縁破壊を避けるために、空隙40における電界は、1KV/cmであるべきである。このことは2mmの最小空隙につながる。従って、 $d_g$  (空隙40の長さ)は、この例における計算目的のために3mmであると選定され得る。このことから $C_g = 0.4$  pF及び $Z_0 = 30.6$  (オーム)である。従って、 $l_2$ に対する解は、 $l_2 = 27.9$  mm及び $89.2$  mmである。最適化のために、 $l_2$ はこれらの二つの値の間に選定されるべきである。この例に対しては、 $l_2$ は80mmとしてとられる。

【0022】この例において決定されるべき次の寸法は、 $l_3$ 及び $l_4$  (各腕の長さ)である。双方が、先に計算した導波管内波長 $\lambda_g$ の半分のオーダーであるべきである。プランジャ50を装着する都合のために、 $l_3$ は $8 \times 25.4$  mmととられ、そして $l_4$ は図2の実施例において $5 \times 25.4$  mmとしてとられる。そのプランジャはインピーダンス整合に対して1つの自由度を許容する。図3の実施例では、 $l_3$ と $l_4$ は本質的に等しく、2つの摺動可能な腕42がインピーダンス整合に対して2つの自由度を許容する。

【0023】上述の計算は、コイル40を含まずに、与えられた例に対する正味の寸法を提供する。その設計 \*30

(5)

8

\*は、今、コイルを加えるように修正される。より好ましい実施例においては、コイル38がいくつかの拘束を満たすように設計された。コイル38の内側直径は放電管22の外側直径と整合する。コイルの長さは空隙40と両立するべきである。加えるに、2.45GHzにおいて、インダクタンスは短い空隙40の静電容量と共鳴すべきである。最終的には、コイル38は、コイル加熱及び改善された結合効率を最小にするための高いQを有するべきである。示された例においては、短い空隙空洞の静電容量は次のように近似され得る。

【0024】空隙40がコイル38を収容するために実質的に増加されている。空隙40の正味の調整が0.77cmであると仮定すると、静電容量は近似的に0.09pFになる。示された例においては、コイル38は次のように名目上特徴づけられる。

ターン数 $N = 2$

コイル半径 $R = 0.625$  cm

ワイヤ半径 $= 0.1$  cm

コイル長さ $= 0.765$  cm

10 インダクタンス $L = 0.046$   $\mu$ H

周波数 $= 2.45$  GHz

ワイヤ長さ $=$ 銅コイルに対して $7.85$  cm

表皮深さ $=$ 銅コイルに対して $1.32 \times 10^{-4}$  cm

コンダクタンス $\sigma =$ 銅コイルに対して $5.9 \times 10^5$  モー/cm

ワイヤ抵抗値 $= 0.16$  オーム

$Q = 4.5 \times 10^3$

ここにおいて

【数8】

$$\pi \mu_0 R^2 N^2$$

$$\text{インダクタンス } L = \frac{\pi \mu_0 R^2 N^2}{1 + 0.9 R}$$

$$1 + 0.9 R$$

ここで

【数9】 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m;

【数10】

$$\text{表示深さ } \delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}; \text{ そして}$$

$$Q = \omega L / R$$

【0025】図2及び図3にて示された例示実施例は、標準的な短い空隙プラズマ発生機と共に発見される問題を軽減する。共鳴結合が空洞の電力処理容量を高める。共鳴において、大きな電流がコイル38及び空隙40のコンデンサの間で循環する。プラズマはソレノイドコイル38により誘導される渦電流との重合わせにおいて空隙40により発射される表面波により維持される。この二重性は作動状態の広い範囲に亘りプラズマの安定性を

40

改善する。表面波による結合は低圧にて優勢であるが、より高い圧力では、電力結合は主としてコイル38による。ソレノイドコイル38の存在は電力消散密度を増加させる。コイルのパラメータを調整することにより、プラズマ柱長さは与えられた電力レベルに対して最適化され得る。最終的には、運転開始中に、二つのターンコイルがテスラコイルとして機能しプラズマ点火を助ける。

【0026】高い電力マイクロ波供給は、マイクロ波オープンにおいて標準的である低電力( $< 600$  W)供給に比べて高価である。都合のよいことには、図3の実施例において、二つの相対的な低電力600Wマグネトロンヘッドが提供されており、それは1200Wの全電力能力を発生する。付加的な電力能力は、さらに、空隙40における電界の強度を増大させるコイル38の使用により高められる。付加的な腕42及びマグネトロン20は、短い空隙空洞28に結合されて有効な電力をさらに高め得る。

【0027】本発明及びその利益が詳細に述べられてきたが、色々な変化、代用及び変更が、付属の請求項により規定されるような本発明の精神及び範囲から逸脱することなくここでなされ得る。

【0028】以上の説明に関して更に以下の項を開示する。

(1) 第1導波管と、この第1導波管に結合されて当該第1導波管との交点にて空洞を規定する同軸導波管であって、外側円筒とこの外側円筒内に配置された内側円筒を含み、空間がこの内側円筒の一部及び前記外側円筒の一部の間に規定されそして前記第1導波管の壁に接近して配置された端を有し、空間が前記端と前記壁との間に規定されるようにした同軸導波管と、前記内側円筒内に配置された第1部分及び前記内側円筒の前記端及び前記壁の間で前記空間を通り延出する第2部分を有する放電管と、前記端及び前記壁の間で前記空間を通り延出する前記放電管の前記一部の周囲に配置されたコイルを含むプラズマの発生装置。

(2) 第1項記載のプラズマの発生装置において、前記第1導波管が、前記同軸導波管の区域に対しある角度にて各々配置された第1及び第2の腕を含む長方形導波管の区域を含むプラズマの発生装置。

(3) 第2項記載のプラズマの発生装置であってさらに前記第1の腕に結合された電磁的な電力源をさらに含むプラズマの発生装置。

(4) 第3項記載のプラズマの発生装置であって前記第2の腕に結合された第2の電磁的な電力源を含むプラズマの発生装置。

【0029】(5) 第1項記載のプラズマの発生装置であって前記内側導体及び前記外側導体の間で規定された前記空間内に配置されたブランジャをさらに含むプラズマの発生装置。

(6) 前記第2項記載のプラズマの発生装置であって前記長方形導波管の区域の前記第2の腕内に配置されたブランジャをさらに含むプラズマの発生装置。

(7) 第1項記載のプラズマの発生装置において前記長方形導波管の区域が第1及び第2の端と第1及び第2の腕をもつ固定された区域を含み、前記第1の腕は前記第1の端にスライド可能に挿入されそして前記第2の腕は前記固定された区域の前記第2の端内にスライド可能に挿入されるようにしたプラズマの発生装置。

(8) 第1項記載のプラズマの発生装置において前記内側円筒が、前記内側円筒の前記端及び前記壁の間の前記空隙の長さが調整可能なように、前記外側円筒の軸に沿ってスライド可能であるプラズマの発生装置。

【0030】(9) 第1項記載のプラズマの発生装置において前記第1導波管が前記同軸導波管から半径方向へ延出する長方形導波管の複数の区域を含むようにしたプラズマの発生装置。

(10) 第1及び第2の腕を含む長方形導波管の区域

と、前記腕の選択された一つに結合された電磁的な電力源と、前記長方形導波管の区域の第1壁を介して結合されて空洞を形成する同軸導波管の区域であって、第1円筒とこの第1円筒内にスライド可能に配置された第2円筒とを含み、空間が前記第1及び第2の円筒の対応部分の間に配置されて前記空洞の一部を形成し、前記第2円筒の端が前記長方形導波管の区域の壁に接近して可変に配置されそしてそれらの間に可変の空間を規定し、そして前記第1及び第2の円筒の前記対応部分の間で前記空間内に配置された同軸ブランジャを含む同軸導波管の区域と、前記第2円筒内に配置された第1部分及び前記第2円筒の前記端及び前記長方形導波管の前記壁の間で前記空間を通り延出する第2部分を有する放電管と、前記放電管の前記第2部分の周りに巻回されたコイルとを含むプラズマの発生装置。

【0031】(11) 第10項記載のプラズマの発生装置において空間が前記放電管の一部及び前記第2円筒の対応部分の間に規定され、ポートが前記第2円筒を介して配置されて前記空間との流体連通を許容するようにしたプラズマの発生装置。

(12) 第10項記載のプラズマの発生装置において前記ブランジャが無接触のブランジャを含むプラズマの発生装置。

(13) 第10項記載のプラズマの発生装置において前記電磁的な電力源がマグネトロンを含むプラズマの発生装置。

(14) 第10項記載のプラズマの発生装置においてブランジャが前記各腕の他の一つ内に配置されるようにしたプラズマの発生装置。

(15) 第10項記載のプラズマの発生装置において前記放電管が石英管を含むようにしたプラズマの発生装置。

(16) 第10項記載のプラズマの発生装置において前記放電管がサファイア管を含むようにしたプラズマの発生装置。

【0032】(17) 処理室と、

第1及び第2の腕を含む長方形導波管の区域と、前記各腕の選択された一つに結合されたマグネトロンと、前記長方形導波管の区域の第1壁を通り結合されて空洞を形成する同軸導波管の区域であって、第1円筒とこの第1円筒内にスライド可能に配置された第2円筒とを含み、空間が前記第1及び第2の円筒の対応部分の間に配置されて前記空洞の一部を形成し、前記第2円筒の端が前記長方形導波管の区域の第2壁に接近して配置されそしてそれらの間に空間を規定する同軸導波管の区域と、前記第2円筒内に配置された第1部分及び前記第2円筒の前記端及び前記長方形導波管の前記壁の間の前記空間を通り延出する第2部分を有する放電管であって、この放電管の第1の端は前記室に結合されてプラズマをそれに提供する放電管と、前記放電管の前記第2部分の周りに巻

回されたコイルであって、可変空隙が前記第2円筒の前記端及び前記コイルの一部の間で規定されるコイルとを含むプラズマ発生装置と、前記放電管の第2の端に結合されたガス源とを含むようにした処理システム。

【0033】(18)第17項記載の処理システムにおいて前記プラズマ発生機が前記第1及び第2の円筒の対応部分の間で前記空間内に配置された同軸プランジャをさらに含むようにした処理システム。

(19)第17項記載の処理システムであって前記各腕のもう一つに結合された第2マグネトロンを含むようにした処理システム。

(20)長方形導波管の区域及び同軸導波管の区域の交点にてマイクロ波空洞を形成し、前記空洞内に前記同軸導波管の内側導体を配置して前記長方形導波管の壁と共に容量的空隙を形成し、予め選択されたガスを搬送する放電管の一部を前記容量的空隙を通して延出させ、前記容量的空隙を通り延出する前記放電管の前記一部の周りにコイルを巻回し、そして電界が前記容量的空隙内に創造されるように、電磁波を前記空洞内に発射し、電流が前記コイル内に誘導されそして前記コイルに接近した前記管内に搬送されるガスがイオン化される各ステップを含むようにしたプラズマを発生させる方法。

(21)第20項記載の方法であって前記同軸導波管の内側導体を移動させるとにより前記管内のガスのイオン化を最小にして前記容量的空隙の長さを調整し共鳴が前記空隙の静電容量と前記コイルのインダクタンスの間で確立されるように前記空隙の静容量と前記コイルのインダクタンスの間の共鳴を達成するステップをさらに含むようにした方法。

【0034】(22)サーファトロン12が、同軸導波管30の区域に結合されてそれらの間の交点にて空洞28を規定する第1導波管32を含んで設けられている。同軸導波管30は外側円筒36及び外側円筒36内に配置された内側円筒34を含む。内側円筒34は導波管32の第1区域の壁に接近して配置された端を有する。空間40は、内側円筒34の端及び導波管32の壁

の間に規定される。放電管22は、内側円筒34内に配置された第1部分及び内側円筒34の端及び導波管32の壁の間で空間40を通し延出する第2部分を有して設けられている。コイル38は内側円筒34の端及び導波管32の壁の間で空間40を通り延出する放電管22の一部の周りに配置されている。

#### 【0035】注意

(c) 著作権、★M★ テキサス・インスツルメンツ・インコーポレーテッド (Texas Instruments Incorporated)、1990。この特許書類の開示の一部は、著作権保護を必要とする題材を含む。著作権及びマスクワーク所有者 (mask work owner) は、米国特許庁、特許ファイル或いは記録において明らかになるとき、特許書類或いは特許開示の誰かによるファクシミリ再生に異存はないが、さもなければ、その著作権及びマスクワークにおける全ての権利を保留する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施するプラズマ発生方法及び装置を使用した半導体製造システムの断面図である。

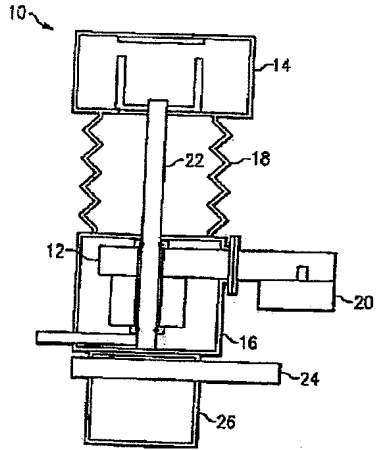
【図2】本発明の原理を実施するプラズマ発生装置の断面図である。

【図3】本発明の原理を実施するプラズマ発生装置の第2実施例の断面図である。

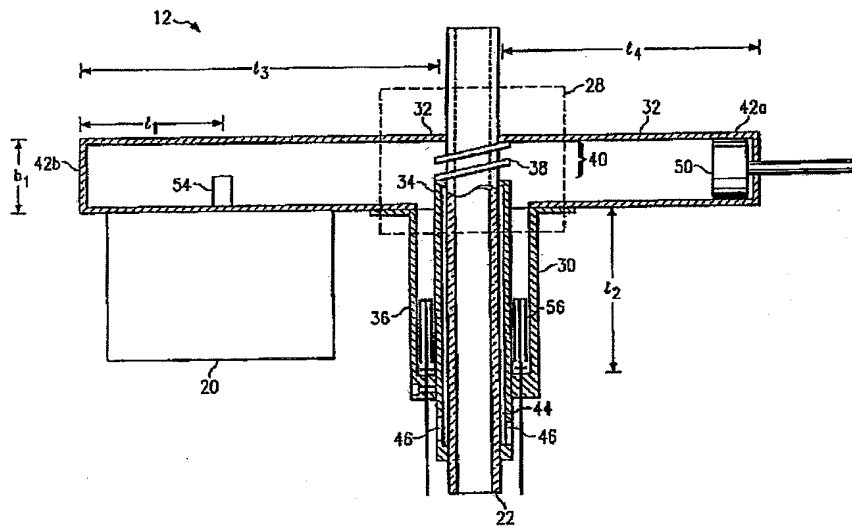
#### 【符号の説明】

- 12 サーファトロン
- 22 放電管
- 28 空洞
- 32 長方形導波管
- 30 同軸導波管
- 34 内側円筒
- 36 外側円筒
- 38 コイル
- 40 空間
- 42 a、42 b 腕
- 50 プランジャ。

【図1】



【図2】



【図3】

